

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. Januar 2021 (21.01.2021)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2021/009218 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
C03B 37/012 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/069990

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. Juli 2020 (15.07.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
19186745.6 17. Juli 2019 (17.07.2019) EP

(71) Anmelder: HERAEUS QUARZGLAS GMBH & CO.
KG [DE/DE]; Quarzstrasse 8, 63450 Hanau (DE).

(72) Erfinder: ROSENBERGER, Manuel; c/o Heraeus Quarz-
glas GmbH & Co. KG, Quarzstraße 8, 63450 Hanau (DE).

EHRENTAUT, Enrico; c/o Heraeus Quarzglas GmbH & Co. KG, Quarzstraße 8, 63450 Hanau (DE). **KOSTKA, David**; c/o Heraeus Quarzglas GmbH & Co. KG, Quarzstraße 8, 63450 Hanau (DE). **TROMMER, Martin**; c/o Heraeus Quarzglas Bitterfeld GmbH & Co. KG, Quarzstraße 8, 63450 Hanau (DE). **WEIMANN, Steffen**; c/o Heraeus Quarzglas Bitterfeld GmbH & Co. KG, Quarzstraße 8, 63450 Hanau (DE). **HÜNERMANN, Michael**; c/o Heraeus Quarzglas GmbH & Co. KG, Quarzstraße 8, 63450 Hanau (DE). **SCHUSTER, Kay**; c/o Heraeus Quarzglas Bitterfeld GmbH & Co. KG, Quarzstraße 8, 63450 Hanau (DE).

(74) Anwalt: STAUDT, Armin; Sandeldamm 24a, 63450 Hanau (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

(54) Title: METHODS FOR PRODUCING A HOLLOW-CORE FIBER AND FOR PRODUCING A PREFORM FOR A HOLLOW-CORE FIBER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER HOHLKERNFASER UND ZUR HERSTELLUNG EINER VORFORM FÜR EINE HOHLKERNFASER

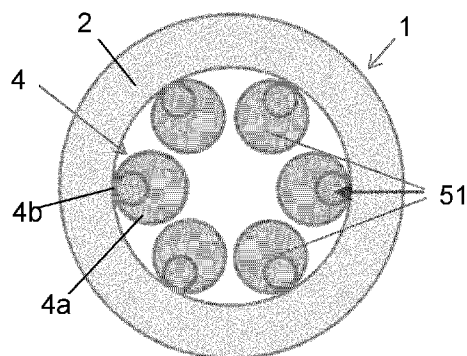


Fig. 2

(57) Abstract: Methods are known for producing an anti-resonant hollow-core fiber which has a hollow core extending along a fiber longitudinal axis and an inner jacket region that surrounds the hollow core, said jacket region comprising multiple anti-resonant elements. The known methods have the steps of: providing a cladding tube that has a cladding tube inner bore and a cladding tube longitudinal axis along which a cladding tube wall extends that is delimited by an interior and an exterior; providing a number of tubular anti-resonant element preforms; arranging the anti-resonant element preforms at target positions of the interior of the cladding tube wall, thereby forming a primary preform which has a hollow core region and an inner jacket region; and elongating the primary preform in order to form the hollow-core fiber or further processing the primary preform in order to form a secondary preform. The aim of the invention is to achieve a high degree of precision and an exact positioning of the anti-resonant elements in a sufficiently stable and reproducible manner on the basis of the aforementioned methods. This is achieved in that a secondary preform is formed which has an outer diameter ranging from 30 to 90 mm, and at least one of the end faces of the anti-resonant element preforms is closed prior to drawing the fiber.

(57) Zusammenfassung: Es sind Verfahren zur Herstellung einer Antiresonanten Hohlkernfaser bekannt, die einen sich entlang einer Faser-Längsachse erstreckenden Hohlkern und einen den Hohlkern umgebenden inneren Mantelbereich aufweist, der mehrere Antiresonanzelemente umfasst. Die bekannten Verfahren umfassen die Verfahrensschritte: des Bereitstellens eines Hüllrohres, das eine Hüllrohr-Innenbohrung und eine Hüllrohr-Längsachse aufweist, entlang der sich eine von einer Innenseite und einer Außenseite begrenzte Hüllrohr-Wandung erstreckt; des Bereitstellens einer Anzahl von rohrförmigen Antiresonanzelement-Vorformlingen; des Anordnens der Antiresonanzelement-Vorformlinge an Soll-Positionen der Innenseite der



AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Hüllrohr-Wandung unter Bildung einer primären Vorform, die einen hohlen Kernbereich und einen inneren Mantelbereich aufweist; des Elongieren der primären Vorform zu der Hohlkernfaser oder der Weiterverarbeitung der primären Vorform zu einer sekundären Vorform. Um hiervon ausgehend eine hohe Präzision und eine exakte Positionierung der Antiresonanzelemente in einer ausreichend stabilen und reproduzierbaren Weise zu erreichen, wird vorgeschlagen, dass eine sekundäre Vorform gebildet wird, die einen Außendurchmesser im Bereich von 30 bis 90 mm aufweist, und dass mindestens eines der stimseitigen Enden der Antiresonanzelement-Vorformlinge vor dem Faserziehen verschlossen wird.

Verfahren zur Herstellung einer Hohlkernfaser und zur Herstellung einer Vorform für eine Hohlkernfaser

BESCHREIBUNG

5 Technischer Hintergrund

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Antiresonanten Hohlkernfaser, die einen sich entlang einer Faser-Längsachse erstreckenden Hohlkern und einen den Hohlkern umgebenden Mantelbereich, der eine Anzahl von Antiresonanzelementen umfasst, mit den Verfahrensschritten:

- 10 (a) Bereitstellen einer primären Vorform für die Hohlkernfaser, die einen hohlen Kernbereich und einen Mantelbereich aufweist, der mindestens ein Hüllrohr umfasst, das eine Hüllrohr-Innenbohrung und eine Hüllrohr-Längsachse aufweist, entlang der sich eine von einer Innenmantelfläche und einer Außenmantelfläche begrenzte Hüllrohr-Wandung erstreckt,
- 15 wobei im Mantelbereich eine Anzahl von rohrförmigen und/oder hohlkanalförmigen Antiresonanzelement-Vorformlingen angeordnet sind,
- (b) Weiterverarbeitung der primären Vorform zu einer sekundären Vorform, die eine einmalige oder wiederholte Durchführung von einem oder mehreren der folgenden Heißformprozesse umfasst:
- 20 (i) Elongieren
- (ii) Kollabieren und gleichzeitiges Elongieren,
- (iii) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und anschließendes Elongieren,
- (iv) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und gleichzeitiges
- 25 Elongieren, und
- (c) Ziehen der Hohlkernfaser aus der sekundären Vorform,

Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung einer Vorform für eine Antiresonante Hohlkernfaser, die einen sich entlang einer Faser-Längsachse

erstreckenden Hohlkern und den Hohlkern umgebenden Mantelbereich aufweist, der mehrere Antiresonanzelemente umfasst, mit den Verfahrensschritten:

- 5 (a) Bereitstellen einer primären Vorform für die Hohlkernfaser, die einen hohlen Kernbereich und einen Mantelbereich aufweist, der mindestens ein Hüllrohr umfasst, das eine Hüllrohr-Innenbohrung und eine Hüllrohr-Längsachse aufweist, entlang der sich eine von einer Innenmantelfläche und einer Außenmantelfläche begrenzte Hüllrohr-Wandung erstreckt, wobei im Mantelbereich eine Anzahl von rohrförmigen und/oder hohlkanalförmigen Antiresonanzelement-Vorformlingen angeordnet sind, und
- 10 (b) Weiterverarbeitung der primären Vorform zu einer sekundären Vorform, die eine einmalige oder wiederholte Durchführung von einem oder mehreren der folgenden Heißformprozesse umfasst:
- 15 (i) Elongieren
- (ii) Kollabieren und gleichzeitiges Elongieren,
- (iii) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und anschließendes Elongieren,
- (iv) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und gleichzeitiges Elongieren,
- 20 Herkömmliche Monomode-Lichtleitfasern aus Vollmaterial haben einen Kernbereich aus Glas, der von einem Mantelbereich aus Glas mit niedrigerem Brechungsindex umgeben ist. Die Lichtleitung beruht dabei auf Totalreflexion zwischen Kern- und Mantelbereich. Die Wechselwirkungen des geführten Lichtes mit dem Vollmaterial sind jedoch mit einer erhöhten Latenz bei der Datenübertragung und relativ niedrigen Schädigungsschwellen gegenüber energiereicher Strahlung verbunden.
- 25

Diese Nachteile vermeiden oder verringern „Hohlkernfasern“, bei denen der Kern einen evakuierten, mit Gas oder Flüssigkeit gefüllten Hohlraum umfasst. In Hohlkernfasern ist die Wechselwirkung des Lichtes mit dem Glas geringer als in Vollkernfasern. Der Brechungsindex des Kerns ist kleiner als der des Mantels, so dass

30

eine Lichtleitung durch Totalreflexion nicht möglich ist und das Licht normalerweise aus dem Kern in den Mantel entweichen würde. In Abhängigkeit vom physikalischen Mechanismus der Lichtleitung werden Hohlkernfasern unterteilt in „photonische Bandlückenfasern“ und „Antiresonanz-Reflexionsfaser“.

- 5 Bei „photonischen Bandlückenfasern“ ist der hohle Kernbereich von einem Mantel umgeben, in dem kleine Hohlkanäle periodisch angeordnet sind. Die periodische Struktur der Hohlkanäle im Mantel bewirkt den in Anlehnung an die Halbleitertechnologie als „photonische Bandlücke“ bezeichneten Effekt, wonach an den Mantelstrukturen gestreutes Licht bestimmter Wellenlängenbereiche aufgrund von
- 10 Braggreflexion im zentralen Hohlraum konstruktiv interferiert und sich nicht transversal im Mantel ausbreiten kann.

- Bei der als „Antiresonante Hohlkernfaser“ („antiresonant hollow-core fibers“; AR-HCF) bezeichneten Ausführungsform der Hohlkernfaser ist der hohle Kernbereich von einem inneren Mantelbereich umgeben, in dem sogenannte „antiresonante
- 15 Elemente“ (oder „Antiresonanzelemente“; kurz: „AREs“) angeordnet sind. Die um den Hohlkern gleichmäßig verteilten Wandungen der Antiresonanzelemente können als in Antiresonanz betriebene Fabry-Perot-Kavitäten wirken, die das auftretende Licht reflektieren und durch den Faserkern leiten.

- Diese Fasertechnologie verspricht eine niedrige optische Dämpfung, ein sehr brei-
- 20 tes Transmissionsspektrum (auch im UV- oder IR-Wellenlängenbereich) und eine geringe Latenz bei der Datenübertragung.

- Potentielle Anwendungen der Hohlkernfasern liegen auf dem Gebiet der Datenübertragung, der Hochleistungsstrahlführung, beispielsweise zur Materialbearbeitung, der Modalfilterung, der nichtlinearen Optik, insbesondere zur Superkontinu-
- 25 umserzeugung, vom ultravioletten bis infraroten Wellenlängenbereich.

Ein Nachteil Antiresonanter Hohlkernfasern liegt darin, dass Moden höherer Ordnung nicht zwangsläufig unterdrückt werden, so dass sie über große Übertragungslängen häufig nicht rein einmodig sind und sich die Qualität des Ausgangsstrahls verschlechtert.

- 30 Im Paper von Francesco Poletti „Nested antiresonant nodeless hollow core fiber“; Optics Express, Vol. 22, No. 20 (2014); DOI: 10.1364/OE 22.023807, wird ein

Faserdesign vorgeschlagen, bei dem Antiresonanzelemente nicht als einfaches singuläres Strukturelement ausgebildet sind, sondern sich aus mehreren, miteinander verschachtelten (englisch: nested) Strukturelementen zusammensetzen. Die verschachtelten Antiresonanzelemente sind so ausgelegt, dass Kernmoden
5 höherer Ordnung phasenangepasst an die Mantelmoden sind und unterdrückt werden, aber nicht die fundamentale Kernmode. Dadurch ist die Ausbreitung der fundamentalen Kernmode stets gewährleistet und die Hohlkernfaser kann über einen begrenzten Wellenlängenbereich effektiv einmodig gemacht werden.

Die effektive Modenunterdrückung hängt von der Mittenwellenlänge des übertragenen Lichts und von Strukturparametern des Faserdesigns ab, wie dem Radius
10 des Hohlkerns und der Durchmesserdiffferenz von verschachtelten Ringstrukturen in den Antiresonanzelementen.

Aus der EP 3 136 143 A1 ist eine Antiresonante Hohlkernfaser bekannt (dort bezeichnet als „Hohlkernfaser ohne Bandlücke“), bei der der Kern neben der Funda-
15 mentalmode noch weitere Moden leiten kann. Zu diesem Zweck ist er von einem inneren Mantel mit „nicht-resonanten Elementen“ umgeben, die eine Phasenanpassung von antiresonanten Moden mit den höheren Moden liefern. Die Herstellung der Hohlkernfaser erfolgt nach einer sogenannten „stack-and-draw-Technik“, indem die Ausgangselemente zu einem achsenparallelen Ensemble angeordnet
20 und zu einer Vorform fixiert werden und die Vorform anschließend elongiert wird. Hierbei wird ein Hüllrohr mit hexagonalem Innenquerschnitt verwendet und in den Innenkanten des Hüllrohres werden sechs sogenannte „ARE-Vorformen“ (Anti-Resonanz-Element-Vorformen) fixiert. Diese Vorform wird in zwei Stufen zu einer Hohlkernfaser ausgezogen.

25 Aus der WO 2018/169487 A1 ist ein Verfahren zur Herstellung einer Vorform für antiresonante Hohlkernfasern bekannt, bei dem ein erster Mantelbereich eine Vielzahl an Stäben und ein zweiter Mantelbereich eine Vielzahl von Rohren umfasst, die von einem äußeren Hüllrohr umgeben sind. Stäbe, Rohre und Hüllrohr werden mittels „Stack and draw“-Technik zur Bildung einer Vorform zusammengefügt. Vor
30 dem Elongieren der Vorform wird das Vorformende versiegelt, was durch Aufbringen einer Siegelmasse geschieht. Als Siegelmasse wird beispielsweise ein UV-Kleber eingesetzt.

Technische Aufgabenstellung

Antiresonante Hohlkernfasern und insbesondere solche mit verschachtelten Strukturelementen haben komplexe Innengeometrien, was ihre exakte und reproduzierbare Herstellung erschwert. Dies gilt umso mehr, da zur Einhaltung der Resonanz- beziehungsweise Antiresonanzbedingungen bereits geringe Maßabweichungen in der Größenordnung der Arbeitswellenlänge des zu führenden Lichts nicht tolerierbar sind. Abweichungen von der Soll-Geometrie können ihre Ursache bei der Konfiguration der Faser-Vorform haben, und sie können auch durch ungewollte nicht-maßstäbliche Verformungen beim Faserziehprozess auftreten.

- 5 Bei der bekannten „Stack-and-Draw“-Technik sind viele Elemente positionsgenau zusammenzufügen. Beispielsweise müssen zur Herstellung der aus dem eingangs genannten Paper bekannten Hohlkernfaser im „NANF“-Design sechs Antiresonanzelement-Vorformlinge, jeweils bestehend aus einem Antiresonanzelement-Außenrohr (kurz: ARE-Außenrohr) und einseitig an der Innenmantelfläche des ARE-Außenrohres eingeschweißtem Antiresonanzelement-Innenrohr (kurz: ARE-Innenrohr), an der Innenseite eines Hüllrohres angebracht werden.

- 15 Zur Realisierung geringer Dämpfungswerte und breiter Transmissionsbereiche ist neben einer gleichmäßigen Wandstärke der Wandungen der Antiresonanzelemente auch die azimutale Position der Antiresonanzelemente innerhalb des Hüllrohres wichtig. Dies ist mit der „Stack-and-Draw“-Technik nicht ohne Weiteres zu realisieren. Ziel der Erfindung ist, ein Verfahren zur kostengünstigen Herstellung einer Antiresonanten Hohlkernfaser anzugeben, das Beschränkungen herkömmlicher Herstellungsverfahren vermeidet.

- 25 Insbesondere ist es Ziel der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung einer Antiresonanten Hohlkernfaser und einer Vorform für Antiresonante Hohlkernfasern bereitzustellen, mit dem reproduzierbar eine hohe Präzision der Strukturelemente und eine exakte Positionierung der Antiresonanzelemente in der Faser in einer ausreichend stabilen und reproduzierbaren Weise erreicht werden kann.

- 30 Außerdem sollen Nachteile der klassischen „Stack and Draw“-Technik, mit der die erforderlichen Strukturgenauigkeiten, insbesondere eine gleichmäßige Wandstärke der Antiresonanzelemente und eine exakte Positionierung an vorgegebenen azimutalen Positionen nicht einfach zu erreichen ist, möglichst vermieden werden.

Zusammenfassung der Erfindung

Hinsichtlich des Verfahrens zur Herstellung der Antiresonanten Hohlkernfaser wird diese Aufgabe ausgehend von einem Verfahren der eingangs genannten Gattung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass eine sekundäre Vorform gebildet wird, die
5 einen Außendurchmesser im Bereich von 30 bis 90 mm aufweist, und dass vor dem Ziehen der Hohlkernfaser gemäß Verfahrensschritt (c) mindestens eines der stirnseitigen Enden der Antiresonanzelement-Vorformlinge verschlossen wird.

Ausgangspunkt für die Herstellung der Antiresonanten Hohlkernfaser ist eine Vorform, die hier als „primäre Vorform“ bezeichnet wird. Sie umfasst ein Hüllrohr, in
10 dem oder an dem Vorstufen oder Vorformlinge für die Ausformung Antiresonanzelemente in den Hohlkernfasern (hier kurz als „Antiresonanzelemente“ bezeichnet) enthalten sind. Die primäre Vorform kann zu der Hohlkernfaser elongiert werden; in der Regel wird der primären Vorform aber zusätzliches Mantelmaterial hinzugefügt, um daraus eine hier als „sekundäre Vorform“ bezeichnete Vorform zu
15 erzeugen. Gegebenenfalls wird die Hohlkernfaser durch Elongieren der sekundären Vorform erzeugt. Alternativ werden die primäre Vorform oder die sekundäre Vorform unter Ausbildung eines coaxialen Ensembles von Bauteilen mit einem Überfangzylinder oder mit mehrere Überfangzylindern umgeben und das coaxiale Ensemble direkt zu der Hohlkernfaser elongiert. Der allgemeine Begriff „Vorform“
20 wird hier zur Bezeichnung desjenigen Bauteils oder desjenigen coaxialen Ensembles von Bauteilen verstanden, aus der die Hohlkernfaser letztlich gezogen wird.

Das Hinzufügen von Mantelmaterial umfasst das Aufkollabieren eines Überfangzylinders auf die primäre Vorform. Die coaxiale Anordnung aus primärer Vorform und Überfangzylinder wird beim Aufkollabieren des Überfangzylinders elongiert, oder
25 sie wird nicht elongiert. Dabei werden die Antiresonanzelement-Vorformlinge in ihrer Form oder Anordnung verändert, oder sie werden in ihrer Form oder Anordnung nicht verändert.

Die Herstellung der Vorform umfasst eine Anzahl von Verfahrensschritten, bei denen Ausgangselemente der Hohlkernfaser hergestellt und zueinander positioniert
30 werden und mindestens einen Heißverformungsschritt. Jedes der Ausgangselemente weist eine gewisse Abweichung von seiner Sollgeometrie auf und jeder Schritt der Positionierung und Umformung führt zwangsläufig zu

Geometrieabweichungen, die sich in der fertigen Vorform zu einem absoluten Geometriefehler aufsummieren. Insbesondere die Heißumformung von Glas kann bei geringsten Abweichungen von einem idealen in der Regel zylindersymmetrischen Temperaturprofil der Heizzone zu einer ungewollten und nicht reproduzierbaren Verformung führen.

Die beim erfindungsgemäßen Verfahren zum Faserziehprozess eingesetzte Vorform zeichnet sich durch einen Außendurchmesser im Bereich von 30 bis 90 mm, vorzugsweise im Bereich von 40 bis 90 mm, aus. Dies ist im Vergleich zum derzeitigen Stand der Technik ein großer Außendurchmesser. Da mit zunehmendem Außendurchmesser der Vorform die vorhandene absolute Geometriefehler beim Faserziehen stärker herunterskaliert werden, wird so eine präzisere Fertigung der Hohlkernfaser grundsätzlich ermöglicht.

Es hat sich jedoch gezeigt, dass eine beliebige Vergrößerung des Vorform-Außendurchmessers nicht automatisch zu einer präziseren Hohlkernfaser führt, sondern, dass zur Einhaltung eines maximalen relativen Geometriefehlers von 3,5% in der Wanddicke Antiresonanzelemente in der Hohlkernfaser folgende Randbedingungen einzuhalten sind.

- I. Der Vorform-Außendurchmesser beträgt maximal 90 mm. Bei größeren Durchmessern bilden sich im Faserziehprozess Temperaturgradienten innerhalb des Vorformvolumens, die in Abweichungen der Wanddicke bei den Antiresonanzelementen in der Hohlkernfaser von mehr als 3,5% resultieren. Die Bezugsgröße für die %-Angabe ist die mittlere Wanddicke.
- II. Der Vorform-Außendurchmesser beträgt mindestens 30 mm, vorzugsweise mindestens 40 mm. Es hat sich gezeigt, dass Antiresonanzelement-Vorformlinge realisierbar sind, bei denen die Wanddickenabweichung etwa 4 µm beträgt. Bei kleineren Vorform-Außendurchmessern als 30 mm führt dieser absolute Fehler bei den Vorformlingen zu einem relativen Fehler in der Wanddicke der Antiresonanzelemente in der fertigen Hohlkernfaser von mehr als 3,5 %.
- III. Alle Antiresonanzelement-Vorformlinge oder mindestens ein Teil bilden Hohlkanäle und sind in der Regel beidseitig offen. Der freie Innendurchmesser der Hohlkanäle ist klein und liegt in der Vorform typischerweise im

Bereich einiger Millimeter. Beim Heißformprozess wird die Vorform von außen erwärmt, so dass sich im Vorform-Volumen ein radialer Temperaturgradient einstellt. Dieser ist – bei ansonsten gleichen Prozessbedingungen – umso größer je dicker die Vorform ist. Es besteht die Gefahr, dass die Hohlkanäle infolge der Oberflächenspannung und abhängig von der lokalen Temperatur unterschiedlich schrumpfen. Diese Gefahr ist umso größer, je größer der radiale Temperaturgradient und je dicker die Vorform ist. Auf den zentralen Hohlkern hat der Temperaturgradient hingegen keine wesentlichen Auswirkungen.

Um diesem Effekt bei den erfindungsgemäß relativ dicken Vorformen zu begegnen, wird beim Faserziehprozess mit vertikaler Orientierung der Längsachsen der Kernbereich (Hohlkern) offen gelassen, aber bei mindestens einem Teil der Antiresonanzelement-Vorformlinge das ansonsten offene, obere Ende verschlossen.

Demnach wird bei einer bevorzugten Verfahrensweise vor dem Ziehen der Hohlkernfaser in vertikaler Ausrichtung gemäß Verfahrensschritt (c) jeweils nur das obere stirnseitige Ende der Antiresonanzelement-Vorformlinge verschlossen.

Die Versiegelung des Antiresonanzelement-Vorformlings oder der Antiresonanzelement-Vorformlinge erfolgt vor Beginn des Faserziehprozess und sie bleibt auch während des Faserziehprozesses bestehen. Durch die Versiegelung des oberen Endes hat jeder Hohlkanal ein anfängliches Gasvolumen. Beim Faserziehprozess wird das Gas erwärmt und der Druck in den Hohlkanälen erhöht, so dass sich diese von unten beginnend nach oben hin aufweiten. Da der Gasaustausch in den engen Hohlkanälen gering ist und das heiße Gas nicht nach oben entweichen kann, bestimmt der Temperatur-Unterschied zwischen unterem und oberem Vorform-Ende maßgeblich das Maß der Expansion, und zwar im Wesentlichen unabhängig vom ursprünglichen Hohlkanal-Durchmesser. Dieser Temperaturunterschied ist aber für alle Hohlkanäle unabhängig von ihrer radialen Position etwa gleich groß, so dass sich alle Hohlkanäle etwa im gleichen Maß aufweiten.

Dadurch bleibt die ursprüngliche Verteilung der Hohlkanalgrößen in der dicken Vorform auch in der finalen Hohlkernfaser erhalten.

Dieses Konzept eignet sich auch für ein reproduzierbares und präzises Herstellungsverfahren für Antiresonante Hohlkernfasern im industriellen Maßstab. Es ist insbesondere zur präzisen Herstellung Antiresonante Hohlkernfasern mit verschachtelten Antiresonanzelementen geeignet, die stark voneinander abweichende Innendurchmesser haben.

Bei einer bevorzugten Verfahrensweise wird in Verfahrensschritt (a) eine primäre Vorform gebildet, die einen Außendurchmesser im Bereich von 20 bis 70 mm, bevorzugt im Bereich von 30 bis 70 mm, aufweist.

Hierbei handelt es sich um einen vergleichsweise großen Außendurchmesser. Im Stand der Technik liegen die Außendurchmesser der primären Vorformen typischerweise bei 4 bis 6 mm.

Es hat sich auch als vorteilhaft erweisen, wenn die primäre Vorform in der sekundären Vorform einen inneren Mantelbereich bildet, der einen Außendurchmesser im Bereich von 7 mm bis 50 mm, bevorzugt im Bereich von 20 mm bis 50 mm, aufweist.

Der hohle Kernbereich und das Material für den inneren Mantelbereich der sekundären Vorform werden von der primären Vorform vorgegeben. Diese umfasst den Hohlkern und einen inneren Mantelbereich. Eine Vergrößerung des Außendurchmessers der primären Vorform kann sowohl durch eine Vergrößerung des Hohlkerns erreicht werden (einhergehend mit einer geringeren Dämpfung) als auch durch eine Verringerung des Außendurchmessers der finalen Hohlkernfaser (einhergehend mit einem geringeren Materialeinsatz). Ein Außendurchmesser des inneren Mantelbereichs der sekundären Vorform im Bereich von 7 mm bis 50 mm, und insbesondere der Bereich von 20 mm bis 50 mm, stellt einen geeigneten Kompromiss dar.

Es hat sich auch bewährt, wenn beim Ziehen der Hohlkernfaser gemäß Verfahrensschritt (c) im Kernbereich ein Innendruck im Bereich zwischen 0,05 mbar bis 20 mbar eingestellt wird, vorzugsweise im Bereich zwischen 3 mbar bis 20 mbar.

Bei einem Innendruck von weniger als 0,05 mbar kann es dazu kommen, dass sich die Antiresonanzelement-Vorformlinge beziehungsweise Antiresonanzelement-Vorstufen zu stark aufblähen. Umgekehrt, kann ein Innendruck von mehr als 20 mbar im Kernbereich dazu führen, dass der Gasdruck innerhalb der Hohlkanäle der Antiresonanzelement-Vorformlinge nicht ausreicht, damit sich diese im Hei-
5 ßformprozess ausreichend aufweiten.

Die Temperatur der Heizzone beim Heißformprozess sollte möglichst konstant sein. Vorteilhafterweise wird daher beim Heißformprozess gemäß Verfahrensschritt (d) ein temperaturgeregeltes Heizelement eingesetzt, dessen Soll-Tempe-
10 ratur auf $\pm 0.1^\circ\text{C}$ genau gehalten wird.

Dadurch können Temperaturschwankungen im Heißformprozess auf weniger als $\pm 0.5^\circ\text{C}$ begrenzt werden.

Bei einer bevorzugten Verfahrensvariante umfasst das Bereitstellen der primären Vorform ein Anordnen der Antiresonanzelement-Vorformlinge an Soll-Positionen
15 der Innenseite der Hüllrohr-Wandung, wobei das Anordnen der Antiresonanzelement-Vorformlinge und/oder das Ziehen der Hohlkernfaser gemäß Verfahrensschritt (c) eine Fixierungs-Maßnahme und/oder eine Versiegelungsmaßnahme unter Einsatz einer amorphe SiO_2 -Partikel enthaltenden Versiegelungs- oder Verbindungsmasse umfasst.

20 Die zum Versiegeln oder Fixieren eingesetzte Versiegelungs- oder Verbindungsmasse enthält amorphe SiO_2 -Partikel, die beispielsweise in einer Dispersionsflüssigkeit aufgenommen sind. Diese Masse wird zwischen den zu verbindenden beziehungsweise zu versiegelnden Flächen aufgetragen und ist beim Einsatz in der Regel pastös. Beim Trocknen bei niedriger Temperatur wird die Dispersionsflüs-
25 sigkeit teilweise oder vollständig entfernt und die Masse verfestigt. Die Versiegelungs- oder Verbindungsmasse und insbesondere die nach dem Trocknen erhaltene, verfestigte SiO_2 -haltige Versiegelungs- oder Verbindungsmasse genügt den Anforderungen zur Fixierung und Verdichtung. Die dafür erforderliche niedrige Temperatur unterhalb von 300°C begünstigt die Einhaltung der Maßhaltigkeit der
30 Vorform und vermeidet thermische Beeinträchtigungen. Durch Erhitzen auf höhere Temperaturen, beispielsweise beim Elongieren der Vorform zur Hohlkernfaser, ist die Versiegelungs- oder Verbindungsmasse auch geeignet, opakes oder

transparentes Glas zu bilden. Dies geschieht durch Sintern oder Verglasen, wobei das Sintern zu opakem Glas vergleichsweise niedrigere Temperaturen und/oder kurze Erhitzungsdauern erfordert als ein Verglasen bis zur vollständigen Transparenz. Die Versiegelungs- oder Verbindungsmasse kann somit durch Erwärmen
5 verdichtet und durch Erhitzen beim Heißformprozess verglast werden.

Beim Heißformprozess zersetzt sich die Versiegelungs- oder Verbindungsmasse nicht und sie setzt wenig an Verunreinigungen frei. Sie zeichnet sich somit durch thermische Stabilität und Reinheit beim Heißformprozess aus und sie vermeidet Verformungen infolge unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten.

10 Bei einer bevorzugten Verfahrensvariante umfasst das Bereitstellen der primären Vorform gemäß Verfahrensschritt (a) ein Anordnen der Antiresonanzelement-Vorformlinge an Soll-Positionen der Innenseite der Hüllrohr-Wandung, wobei das Anordnen der Antiresonanzelement-Vorformlinge mittels einer in die Hüllrohr-Innenbohrung einzuführenden Positionierungsschablone erfolgt, die Halteelemente zur
15 Positionierung der Antiresonanzelement-Vorformlinge an den Soll-Positionen aufweist.

Die Positionierungsschablone weist beispielsweise einen in die Hüllrohr-Innenbohrung ragenden Schaft auf, der mit Halteelementen in Form mehrerer radial nach außen weisender Haltearme versehen ist.

20 Die konstruktiv vorgegebene sternförmige Anordnung der Halteelemente erleichtert die exakte Positionierung der Antiresonanzelement-Vorformlinge an den jeweiligen Soll-Positionen und deren Fixierung, beispielsweise mittels der oben erläuterten Versiegelungs- oder Verbindungsmasse. Dabei wird die Positionierungsschablone vorzugsweise ausschließlich im Bereich der Hüllrohr-Stirnseiten eingesetzt,
25 vorzugsweise im Bereich beider Hüllrohr-Stirnseiten.

Die Genauigkeit der Positionierung der Vorformlinge an der Innenmantelfläche des Hüllrohrs wird verbessert, indem die Hüllrohr-Innenseite durch spanende Bearbeitung erzeugt wird, insbesondere durch Bohren, Fräsen, Schleifen, Honen und/oder Polieren.

30 Diese Bearbeitungstechniken liefern im Vergleich zu anderen bekannten Umformtechniken unter Einsatz von Hitze und Druck genauere und filigranere Strukturen

und sie vermeiden Verunreinigungen der Oberflächen durch Formwerkzeuge, wie beispielsweise Düsen, Pressen oder Schmelzformen.

Die spanende mechanische Bearbeitung umfasst vorzugsweise auch eine Strukturierung der Hüllrohr-Innenseite im Bereich von Soll-Positionen der Antiresonanzelement-Vorformlinge, indem diese mit einer sich in Richtung der Hüllrohr-Längsachse erstreckenden Längsstruktur versehen wird. Diese Längsstruktur umfasst beispielsweise Längsschlitze und/oder Längsrillen in der Hüllrohr-Innenwandung, die parallel zur Hüllrohr-Längsachse verlaufen und die bevorzugt durch Bohren, Sägen, Fräsen Schneiden oder Schleifen erzeugt werden.

- 5 Die sich in Richtung der Hüllrohr-Längsachse erstreckende Längsstruktur dient als Positionierungshilfe für die Antiresonanzelement-Vorformlinge. Sie erleichtert, dass die Antiresonanzelement-Vorformlinge vorgegebene definierte Positionen an der Innenseite des Hüllrohres einnehmen.

- 15 Es hat sich außerdem eine Verfahrensweise bewährt, bei der beim Ziehen der Hohlkernfaser gemäß Verfahrensschritt (c) mehrere Bestandteile der sekundären Vorform aus Quarzglas gemeinsam erhitzt und erweicht werden, wobei das Quarzglas mindestens einiger der Vorform-Bestandteile mindestens einen Dotierstoff enthält, der die Viskosität von Quarzglas absenkt.

- 20 Bestandteile der Vorform umfassen das Hüllrohr und die darin angeordneten Antiresonanzelement-Vorformlinge sowie zusätzliches Mantelmaterial, das beispielsweise in Form eines Überfangzylinders oder mehrerer Überfangzylinder bereitgestellt und auf die primäre Vorform kollabiert wird. Als die Viskosität von Quarzglas absenkende Dotierstoffe kommen vorzugsweise Fluor, Chlor und/oder Hydroxylgruppen zum Einsatz.

- 25 Die Dotierung ermöglicht die Anpassung der thermischen Ausdehnungskoeffizienten von benachbarten Vorform-Bestandteilen, um Spannungen zu vermeiden oder zu vermindern. Sie kann auch dazu eingesetzt werden, die thermische Stabilität eines Bestandteils zu Gunsten der Stabilität eines benachbarten Bestandteils zu verringern.

- 30 So hat es sich beispielsweise als günstig erwiesen, wenn das Quarzglas des Hüllrohres bei einer Messtemperatur von 1250 °C eine um mindestens 0,5 dPa.s

höhere Viskosität, vorzugsweise eine um mindestens 0,6 dPa.s, höhere Viskosität, aufweist als das Quarzglas von zusätzlich aufgebrachtem Mantelmaterial (bei Angabe der Viskosität als logarithmischer Wert in dPa.s).

5 Insbesondere im Hinblick auf eine geringe optische Dämpfung und eine große optische Übertragungs-Bandbreite der Hohlkernfaser hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, wenn die Antiresonanzelemente um den Hohlkern mit einer ungeradzahlig Symmetrie angeordnet sind.

Bei einer bevorzugten Verfahrensweise wird die Genauigkeit der Positionierung der Vorformlinge im Hüllrohr weiter dadurch verbessert, dass rohrförmige Strukturelemente bereitgestellt werden, von denen mindestens ein Teil eine Wandstärke
10 im Bereich von 0,2 und 2 mm, vorzugsweise eine Wandstärke im Bereich von 0,25 und 1 mm, hat, und wobei ein Hüllrohr mit einem Außendurchmesser im Bereich von 90 und 250 mm und vorzugsweise mit einem Außendurchmesser im Bereich von 120 bis 200 mm bereitgestellt wird. Diese Bauteile haben dabei jeweils eine
15 Länge von mindestens 1 m. Hierbei handelt es sich um relativ großvolumige Strukturelemente zur Bildung von Antiresonanzelementen. Dies vereinfacht die Handhabung. Zudem unterstützt bei vertikaler Anordnung von Hüllrohr und Strukturelementen die Gravitationskraft die Parallelität und die vertikale Ausrichtung der Strukturelement-Längsachsen, wenn die Strukturelemente jeweils an ihrem oberen stirnseitigen Ende an der Soll-Position positioniert und fixiert sind; beispielsweise und bevorzugt unter Einsatz der oben näher erläuterten Versiegelungs- oder Verbindungsmasse und ergänzend oder alternativ dazu mittels der oben näher erläuterten Positionierungsschablone.

Hinsichtlich der Herstellung der Vorform für die Hohlkernfaser wird die oben angegebene technische Aufgabe ausgehend von einem Verfahren der eingangs genannten Gattung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass eine sekundäre Vorform gebildet wird, die einen Außendurchmesser im Bereich von 30 bis 90 mm aufweist, und mindestens eines der stirnseitigen Enden der Antiresonanzelement-Vorformlinge verschlossen ist.

30 Die sekundäre Vorform ist Ausgangspunkt für die Herstellung der Antiresonanten Hohlkernfaser. Durch Elongieren der Vorform wird die Antiresonante Hohlkernfaser gezogen.

Es wird eine Vorform erzeugt, die im Vergleich zum bisherigen Stand der Technik einen großen Außendurchmesser im Bereich von 30 bis 90 mm, vorzugsweise im Bereich von 40 bis 90 mm, aufweist, so dass der in der Vorform vorhandene absolute Geometriefehler beim Faserziehen stärker herunterskaliert werden kann.

- 5 Mindestens eines der stirnseitigen Enden der Antiresonanzelement-Vorformlinge wird vor dem Faserziehprozess verschlossen. Das zu verschließende stirnseitige Ende ist dasjenige, das beim Elongieren der Vorform bei vertikal orientierter Längsachse das obere Ende darstellt. Die Versiegelung des Antiresonanzelement-Vorformlings oder der Antiresonanzelement-Vorformlinge bleibt auch während des
- 10 Faserziehprozesses bestehen.

Diese Verfahrensweise ermöglicht eine präzisere Fertigung der Hohlkernfaser. Maßnahmen zur Herstellung der Vorform sind weiter oben im Zusammenhang der Herstellung der Hohlkernfaser erläutert und diese Erläuterungen werden hiermit einbezogen.

15

Definitionen

- Einzelne Verfahrensschritte und Begriffe der obigen Beschreibung werden im Folgenden ergänzend definiert. Die Definitionen sind Bestandteil der Beschreibung der Erfindung. Bei einem sachlichen Widerspruch zwischen einer der folgenden
- 20 Definitionen und der übrigen Beschreibung ist das in der Beschreibung Gesagte maßgeblich.

Antiresonanzelemente

- Die Antiresonanzelemente können einfache oder verschachtelte Strukturelemente
- 25 der Hohlkernfaser sein. Sie haben mindestens zwei Wandungen, die aus Richtung des Hohlkerns gesehen eine negative Krümmung haben (konvex) oder keine Krümmung haben (plan, gerade). Sie bestehen in der Regel aus einem Material, das für das Arbeitslicht transparent ist, beispielsweise aus Glas, insbesondere aus dotiertem oder nicht dotiertem SiO₂, einem Kunststoff, insbesondere aus einem
- 30 Polymer, aus einem Verbundwerkstoff oder aus kristallinem Material.

Antiresonanzelement-Vorformling / Antiresonanzelement-Vorstufe

Als Antiresonanzelement-Vorformlinge werden Bauteile oder Bestandteile der Vorform bezeichnet, die im Wesentlichen durch einfaches Langziehen beim Faserziehprozess zu Antiresonanzelementen in der Hohlkernfaser werden. Als Antiresonanzelement-Vorstufen werden Bauteile oder Bestandteile der Vorform bezeichnet, die erst durch Umformung zu Antiresonanzelement-Vorformlingen oder direkt zu Antiresonanzelementen werden. Die Antiresonanzelement-Vorformlinge können einfache oder verschachtelte Bauteile sein, an denen zusätzlich Positionierhilfen fixiert sein können. Sie liegen ursprünglich in der primären Vorform vor.

- 10 Verschachtelte Antiresonanzelement-Vorformlinge bilden in der Hohlkernfaser verschachtelte Antiresonanzelemente. Sie setzen sich zusammen aus einem Außenrohr und mindestens einem weiteren Strukturelement, das in der Innenbohrung des Außenrohres angeordnet ist. Bei dem weiteren Strukturelement kann es sich um ein weiteres Rohr handeln, das an der Innenmantelfläche des Außenrohres
- 15 anliegt. Das Außenrohr wird als „Antiresonanzelement-Außenrohr“ oder kurz als „ARE-Außenrohr“ bezeichnet und das weitere Rohr als „Antiresonanzelement-Innenrohr“ oder kurz als „ARE-Innenrohr“ oder auch als „verschachteltes ARE-Innenrohr“.

- In der Innenbohrung des verschachtelten ARE-Innenrohres kann bei mehrfach
- 20 verschachtelten Antiresonanzelement-Vorformlingen mindestens ein weiteres Strukturelement angeordnet sein, beispielsweise ein an der Innenmantelfläche des verschachtelten ARE-Innenrohres anliegendes, drittes Rohr. Um bei mehrfach verschachtelten Antiresonanzelement-Vorformlingen zwischen den mehreren Rohren zu unterscheiden, die innerhalb des ARE-Außenrohres angeordnet sind, wird gegebenenfalls zwischen „äußerem verschachteltem ARE-Innenrohr“ und „innerem
- 25 verschachtelten ARE-Innenrohr“ unterschieden.

- Der Begriff „Querschnitt“ in Verbindung mit zylinderförmigen Antiresonanzelement-Vorformlingen und deren zylinderförmigen Strukturelementen bezeichnet stets den Querschnitt senkrecht zur jeweiligen Zylinderlängsachse, und zwar - sofern nichts
- 30 anderes angegeben - bei rohrförmigen Bauteilen den Querschnitt der Außenkontur (nicht: den Querschnitt der Innenkontur).

Durch Weiterverarbeitung der primären Vorform, insbesondere durch Heißumformschritte, können Zwischenprodukte entstehen, in denen die ursprünglichen Antiresonanzelement-Vorformlinge in einer gegenüber der ursprünglichen Form veränderten Form vorliegen. Die veränderte Form wird hier ebenfalls als Antiresonanzelement-Vorformling oder auch als Antiresonanzelement-Vorstufe bezeichnet.

Vorform / primäre Vorform / sekundäre Vorform / Kernvorform (Cane)

Die Vorform ist dasjenige Bauteil, aus dem die Antiresonante Hohlkernfaser gezogen wird. Es ist eine primäre Vorform oder eine durch Weiterverarbeitung der primären Vorform erzeugte sekundäre Vorform. Die primäre Vorform kann als Ensemble aus mindestens einem Hüllrohr und darin lose aufgenommenen oder fest fixierten Vorformlingen oder Vorstufen für Antiresonanzelemente vorliegen. Die Weiterverarbeitung der primären Vorform zu einer sekundären Vorform, aus der die Hohlkernfaser gezogen wird, kann eine einmalige oder wiederholte Durchführung von einem oder mehreren der folgenden Heißformprozesse umfassen:

- (i) Elongieren,
- (ii) Kollabieren,
- (iii) Kollabieren und gleichzeitiges Elongieren,
- (iv) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial,
- (v) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und anschließendes Elongieren,
- (vi) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und gleichzeitiges Elongieren.

Als Kernvorform (engl. Cane) wird in der Literatur eine Vorform bezeichnet, die durch Kollabieren und/oder Elongieren einer primären Vorform erhalten wird. Typischerweise wird sie vor oder beim Ziehen der Hohlkernfaser mit zusätzlichem Mantelmaterial überfangen.

Elongieren / Kollabieren

Beim Elongieren wird die primäre Vorform gelängt. Die Längung kann ohne gleichzeitiges Kollabieren erfolgen. Das Elongieren kann maßstäblich erfolgen, so dass sich beispielsweise die Form und Anordnung von Bauteilen oder Bestandteilen der primären Vorform im elongierten Endprodukt widerspiegeln. Beim Elongieren kann die primäre Vorform aber auch nicht-maßstäblich gezogen und ihre Geometrie verändert werden.

Beim Kollabieren wird eine Innenbohrung verengt oder Ringspalte zwischen rohrförmigen Bauteil werden geschlossen oder verengt. Das Kollabieren geht in der Regel mit einem Elongieren einher.

Hohlkern / Innerer Mantelbereich / Äußerer Mantelbereich

Das Ensemble aus mindestens einem Hüllrohr und darin lose aufgenommenen oder fest fixierten Vorformlingen oder Vorstufen für Antiresonanzelemente wird hier auch als „primäre Vorform“ bezeichnet. Die primäre Vorform umfasst den Hohlkern und einen Mantelbereich. Dieser Mantelbereich wird auch als „innerer Mantelbereich“ bezeichnet, wenn es auch einen „äußeren Mantelbereich“ gibt, der beispielsweise durch Aufkollabieren auf das Ensemble erzeugt worden ist, und wenn zwischen diesen Mantelbereichen unterschieden werden soll. Die Bezeichnungen „innerer Mantelbereich“ und „äußerer Mantelbereich“ werden auch für die entsprechenden Bereiche in der Hohlkernfaser oder in Zwischenprodukten genutzt, die durch Weiterverarbeitung der primären Vorform erhalten werden.

Die Bezeichnung „Rohrinnenseite“ wird auch als Synonym für „Rohr-Innenmantelfläche“ und die Bezeichnung „Rohraußenseite“ wird auch als Synonym für „Rohr-Außenmantelfläche“ verwendet. Der Begriff „Innenbohrung“ in Verbindung mit einem Rohr besagt nicht, dass die Innenbohrung durch einen Bohrvorgang erzeugt worden ist.

Spanende Bearbeitung

Darunter werden trennende mechanische Fertigungsverfahren zur trennenden Bearbeitung eines Werkstücks verstanden, insbesondere Drehen, Schneiden, Bohren, Sägen, Fräsen und Schleifen. Durch diese Bearbeitung wird eine sich in Richtung der Hüllrohr-Längsachse erstreckende Längsstruktur geschaffen, die als Positionierungshilfe für die Antiresonanzelement-Vorformlinge dient. Die Längsstruktur ist von der Hüllrohr-Innenseite zugänglich; sie kann sich auch bis zur Außenseite durch die gesamte Hüllrohr-Wandung erstrecken.

10 Teilchengröße und Teilchengrößenverteilung

Teilchengröße und Teilchengrößenverteilung der SiO_2 -Partikel werden anhand der D_{50} -Werte charakterisiert. Diese Werte werden aus Partikelgrößen-Verteilungskurven entnommen, die das kumulative Volumen der SiO_2 -Partikel in Abhängigkeit von der Partikelgröße zeigen. Die Teilchengrößenverteilungen werden häufig anhand der jeweiligen D_{10} -, D_{50} - und D_{90} -Werte charakterisiert. Dabei kennzeichnet der D_{10} -Wert diejenige Teilchengröße, die von 10% des kumulativen Volumens der SiO_2 -Teilchen nicht erreicht wird, und dementsprechend der D_{50} -Wert und der D_{90} -Wert diejenige Partikelgrößen, die von 50% beziehungsweise von 90% des kumulativen Volumens der SiO_2 -Partikel nicht erreicht wird. Die Partikelgrößenverteilung wird durch Streulicht- und Laserbeugungsspektroskopie nach ISO 13320 ermittelt.

Ausführungsbeispiel

Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und einer Zeichnung näher erläutert. Im Einzelnen zeigt in schematischer Darstellung

25 **Figur 1** eine primäre Vorform mit einem Hüllrohr und darin positionierten und fixierten Antiresonanzelement-Vorformlingen zur Herstellung einer Vorform für eine Hohlkernfaser anhand einer Draufsicht auf den Querschnitt, und

Figur 2 die primäre Vorform von Figur 1 nach dem Verschließen der Antiresonanzelement-Vorformlinge zwecks Durchführung des Faserziehprozesses.

Bei der Herstellung der Hohlkernfaser beziehungsweise der Vorform für die Hohlkernfaser sind eine Vielzahl von Bauteilen miteinander zu verbinden. Darüber hinaus kann es bei der Durchführung von Heißformprozessen hilfreich sein, vorhandene Spalte oder Kanäle der Vorform zu versiegeln. Zum Verbinden beziehungsweise zur Versiegelung wird eine auf SiO₂ basierende Versiegelungs- oder Verbindungsmasse eingesetzt, wie sie aus der DE 10 2004 054 392 A1 bekannt ist. Dabei wird durch Nassvermahlen von Quarzglaskörnung ein wässriger Schlicker erzeugt, der amorphe SiO₂-Partikel mit einer Partikelgrößenverteilung enthält, die durch einen D₅₀-Wert von etwa 5 µm und durch einen D₉₀-Wert von etwa 23 µm gekennzeichnet ist. Dem Basisschlicker wird weitere amorphe SiO₂-Körnung mit einer mittleren Korngröße von etwa 5 µm zugemischt. Der als Verbindungsmasse eingesetzte Schlicker hat einen Feststoffgehalt von 90%, der zu mindestens 99,9 Gew.-% aus SiO₂ besteht.

Figur 1 zeigt schematisch eine primäre Vorform mit einem Hüllrohr 1 mit einer Hüllrohr-Wandung 2, an deren Innenmantelfläche an zuvor definierten azimuthalen Positionen im gleichmäßigen Abstand Antiresonanzelement-Vorformlinge 4 fixiert sind; im Ausführungsbeispiel sind es sechs Vorformlinge 4, in einer anderen, nicht dargestellten bevorzugten Ausführungsform ist es eine ungeradzahlige Anzahl von Vorformlingen.

Das Hüllrohr 1 besteht aus Quarzglas und hat eine Länge von 700 mm, einen Außendurchmesser von 27 mm und einen Innendurchmesser von 20 mm. Die Antiresonanzelement-Vorformlinge 4 liegen als Ensemble miteinander verschachtelter Strukturelemente aus einem ARE-Außenrohr 4a und einem ARE-Innenrohr 4b vor. Das ARE-Außenrohr 4a hat einen Außendurchmesser von 6,2 mm und das ARE-Innenrohr 4b hat einen Außendurchmesser von 2,5 mm. Die Wandstärke beider Strukturelemente (4a; 4b) ist gleich und beträgt 0,3 mm. Die Längen von ARE-Außenrohr 4a und ARE-Innenrohr 4b entsprechen der Hüllrohr-Länge 1.

Die Fixierung der Antiresonanzelement-Vorformlinge 4 an der Innenseite des Hüllrohres 1 erfolgt mittels der auf SiO₂ basierenden Verbindungsmasse 5.

Die Verbindungsmasse 5 wird auf der Hüllrohr-Innenmantelfläche lokal im Bereich der stirnseitigen Enden aufgetragen und die Antiresonanzelement-Vorformlinge werden darauf unter Einsatz einer Positionierungs-Schablone mit konstruktiv vorgegebener sternförmiger Anordnung von Haltearmen für die einzelnen Antiresonanzelement-Vorformlinge 4 aufgesetzt. Die Positionierungs-Schablone ist dabei auf den Bereich um die beiden stirnseitigen Hüllrohr-Enden beschränkt.

Durch diese Methode wird eine genaue und reproduzierbare Verbindung zwischen Hüllrohr 1 und Antiresonanzelement-Vorformlingen 4 geschaffen. Zur Fixierung genügt eine Verfestigung der Verbindungsmasse 5 bei niedriger Temperatur unterhalb von 300 °C, so dass eine starke Erwärmung der umliegenden Bereiche und somit wird eine Verformung Antiresonanzelement-Vorformlinge 4 vermieden wird.

Die primäre Vorform 1 wird mit einem Überfangzylinder aus Quarzglas überfangen, wobei der Überfangzylinder auf das Hüllrohr 1 aufkollabiert, und gleichzeitig das Rohr-Ensemble zu einer sekundären Vorform elongiert wird. Der Überfangzylinder hat einen Außendurchmesser von 63,4 mm und eine Wandstärke von 17 mm.

Beim Kollabier- und Elongierprozess wird die koaxiale Anordnung von Hüllrohr 1 und Überfangzylinder bei vertikal orientierter Längsachse von unten kommend einer temperaturgeregelten Heizzone zugeführt und darin mit dem oberen Ende der Anordnung beginnend zonenweise erweicht.

Die Heizzone wird auf eine Soll-Temperatur von 1600 °C mit einer Regelgenauigkeit von +/- 0.1°C gehalten. Dadurch können Temperaturschwankungen im Heißformprozess auf weniger als +/- 0.5°C begrenzt werden.

Die im Kollabier- und Elongierprozess gebildete sekundäre Vorform (Kernvorform) hat einen Außendurchmesser von etwa 50 mm und eine aus äußerem Mantel und innerem Mantel zusammengesetzte Mantel-Wanddicke von 16,6 mm. Die maximale Wanddickenschwankung (größter Wert minus kleinster Wert) der Antiresonanzelement-Vorformlinge beträgt weniger als 4 µm. Die sekundäre Vorform wird anschließend zu der Antiresonanten Hohlkernfaser gezogen.

Vorher werden alle Antiresonanzelement-Vorformlinge mit der Versiegelungs- oder Verbindungsmasse verschlossen. Dieser Zustand ist schematisch in **Figur 2** anhand dunkelgrau eingefärbter Flächen angedeutet. Die Verschlussmasse 51 ist dabei nur auf diejenige Stirnseite der Antiresonanzelement-Vorformlinge 4 aufgebracht, die beim Faserziehprozess nach oben gewandt ist.

Die nach oben weisende Stirnseite wird mit einem Halterohr aus Quarzglas verbunden, der gleichzeitig als Gasanschluss dient. Der Halter wird mittels der Versiegelungs- oder Verbindungsmasse am Überfangzylinder und am Hüllrohr fixiert.

Beim Faserziehprozess wird die sekundäre Vorform bei vertikal orientierter Längsachse von oben kommend einer temperaturgeregelten Heizzone zugeführt und darin mit dem unteren Ende beginnend zonenweise erweicht. Gleichzeitig wird dem Kernbereich (Hohlkern) Gas zugeführt, so dass sich im Kernbereich ein Innendruck von 4 mbar einstellt.

Die Heizzone wird auf eine Soll-Temperatur von etwa 2100 °C mit einer Regelgenauigkeit von $\pm 0.1^\circ\text{C}$ gehalten. Dadurch können Temperaturschwankungen im Heißformprozess auf weniger als $\pm 0.5^\circ\text{C}$ begrenzt werden.

Durch Ziehen der Vorform zur Hohlkernfaser wird der vorhandene absolute Geometriefehler herunterskaliert, so dass in der Hohlkernfaser die aus den Antiresonanzelement-Vorformlingen erhaltenen Antiresonanzelemente eine maximale Abweichung von weniger als 3,5% in der Wanddicke aufweisen.

In der folgenden Tabelle sind Außendurchmesser (OD) beziehungsweise Innendurchmesser (ID) von Vorformen und Bestandteilen davon in Abhängigkeit vom gewünschten Durchmesser Verhältnis (OD/ID) zwischen dem Außen- und dem Innendurchmesser des Mantelbereichs der Hohlkernfaser zusammengefasst

Tabelle 1

Nr.	OD/ID	Faser-OD/IDer	OD (Sekundäre Vorform (mm))	ID r (vormalige primäre Vorform) (mm)	OD (vormalige primäre Vorform) (mm)
1	2,3	230/98	90	38	46
2	2,9	230/80	90	31	39
3	2,0	200/98	90	44	53
4	2,3	230/98	30	13	15
5	2,9	230/80	30	10	13
6	2,0	200/98	30	15	18
7	3,0	230/98	50	16,8	22,2
8	2,3	230/98	25	11	13
9	2,3	230/98	100	43	51
10	4,0	230/90	50	12,5	18,8

Der Wert für OD/ID in Tabellenspalte 2 ergibt sich durch Division der Werte der Spalten 4 (Außendurchmesser der sekundären Vorform) und 5 (Innendurchmesser der vormaligen primären Vorform in der sekundären Vorform). Die maximale Abweichung der Wanddicke der Antiresonanzelement-Vorformlinge in der Vorform beträgt bei allen Ausführungsbeispielen etwa 4 μm . Aus den Vorformen wurden Hohlkernfasern mit einem Außendurchmesser von 200 μm beziehungsweise 230 mm gezogen, wie in der obigen Tabelle angegeben und die Wanddicken der Antiresonanzelemente wurden bestimmt. Bei allen Beispielen lag der Fehler in der Wanddicke der Antiresonanzelemente bei weniger als 3,5 % (bezogen auf die mittlere Wanddicke).

Das Beispiel Nr. 7 der Tabelle entspricht dem oben detailliert beschriebenen Ausführungsbeispiel. Die Beispiele 8 und 9 sind Vergleichsbeispiele. Beim Faserziehprozess unter Einsatz der Vorformen der Vergleichsbeispiele wurden jeweils Hohlkernfasern erhalten, bei denen der Fehler in der Wanddicke der Antiresonanzelemente bei mehr als 4 % lag. Beim Vergleichsbeispiel 8 wird dieses unzureichende Ergebnis auf das vergleichsweise kleine Ausziehverhältnis zurückgeführt, und beim Vergleichsbeispiel 9 auf Temperaturgradienten innerhalb des Vorformvolumens beim Faserziehprozess.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Antiresonanten Hohlkernfaser, die einen sich entlang einer Faser-Längsachse erstreckenden Hohlkern und einen den Hohlkern umgebenden Mantelbereich aufweist, der mehrere Antiresonanzelemente umfasst, mit den Verfahrensschritten:
 - (a) Bereitstellen einer primären Vorform für die Hohlkernfaser, die einen hohlen Kernbereich und einen Mantelbereich aufweist, der mindestens ein Hüllrohr (1) umfasst, das eine Hüllrohr-Innenbohrung und eine Hüllrohr-Längsachse aufweist, entlang der sich eine von einer Innenmantelfläche und einer Außenmantelfläche begrenzte Hüllrohr-Wandung (2) erstreckt, wobei im Mantelbereich eine Anzahl von rohrförmigen und/oder hohlkanalförmigen Antiresonanzelement-Vorformlingen (4) angeordnet sind,
 - (b) Weiterverarbeitung der primären Vorform zu einer sekundären Vorform, die eine einmalige oder wiederholte Durchführung von einem oder mehreren der folgenden Heißformprozesse umfasst:
 - (i) Elongieren
 - (ii) Kollabieren und gleichzeitiges Elongieren,
 - (iii) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und anschließendes Elongieren,
 - (iv) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und gleichzeitiges Elongieren, und
 - (c) Ziehen der Hohlkernfaser aus der sekundären Vorform,dadurch gekennzeichnet, dass eine sekundäre Vorform gebildet wird, die einen Außendurchmesser im Bereich von 30 bis 90 mm aufweist, und dass vor dem Ziehen der Hohlkernfaser gemäß Verfahrensschritt (c) mindestens eines der stirnseitigen Enden der Antiresonanzelement-Vorformlinge (4) verschlossen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass gemäß Verfahrensschritt (a) eine primäre Vorform bereitgestellt wird, die einen Außendurchmesser im Bereich von 20 mm bis 70 mm aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die primäre Vorform in der sekundären Vorform einen inneren Mantelbereich bildet, der einen Außendurchmesser im Bereich von 7 mm bis 50 mm aufweist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Ziehen der Hohlkernfaser gemäß Verfahrensschritt (c) im Kernbereich ein Innendruck im Bereich zwischen 0.05 mbar – 20 mbar eingestellt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Durchführen eines Prozesses gemäß Verfahrensschritt (b) ein temperaturgeregeltes Heizelement eingesetzt wird, dessen Soll-Temperatur auf $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ genau gehalten wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Bereitstellen der primären Vorform ein Anordnen der Antiresonanzelement-Vorformlinge (4) an Soll-Positionen der Innenseite der Hüllrohr-Wandung (2) umfasst, wobei das Anordnen der Antiresonanzelement-Vorformlinge und/oder das Ziehen der Hohlkernfaser gemäß Verfahrensschritt (c) eine Fixierungs-Maßnahme und/oder eine Versiegelungsmaßnahme unter Einsatz einer amorphe SiO_2 -Partikel enthaltenden Versiegelungs- oder Verbindungsmasse (5) umfasst.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Bereitstellen der primären Vorform gemäß Verfahrensschritt (a) ein Anordnen der Antiresonanzelement-Vorformlinge (4) an Soll-Positionen der Innenseite der Hüllrohr-Wandung (2) umfasst, wobei das Anordnen der Antiresonanzelement-Vorformlinge mittels einer in die Hüllrohr-Innenbohrung einzuführenden Positionierungsschablone erfolgt, die Halteelemente zur Positionierung der Antiresonanzelement-Vorformlinge an den Soll-Positionen aufweist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Positionierungsschablone mit einem in die Hüllrohr-Innenbohrung ragenden Schaft eingesetzt wird, der mit Halteelementen in Form mehrerer radial nach außen weisender Haltearme versehen ist.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hüllrohr-Innenseite durch spanende Bearbeitung erzeugt wird, insbesondere durch Bohren, Fräsen, Schleifen, Honen und/oder Polieren.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hüllrohr-Innenseite durch spanende Bearbeitung im Bereich der Soll-Positionen mit einer sich in Richtung der Hüllrohr-Längsachse erstreckenden Längsstruktur versehen wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Ziehen der Hohlkernfaser gemäß Verfahrensschritt (c) mehrere Bestandteile der sekundären Vorform aus Quarzglas gemeinsam erhitzt und erweicht werden, wobei das Quarzglas mindestens einiger der Vorform-Bestandteile mindestens einen Dotierstoff enthält, der die Viskosität von Quarzglas absenkt.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass gemäß Verfahrensschritt (b) zusätzliches Mantelmaterial aufkollabiert wird, und dass das Quarzglas des Hüllrohres (1) bei einer Messtemperatur von 1250 °C eine um mindestens 0,5 dPa.s höhere Viskosität, vorzugsweise eine um mindestens 0,6 dPa.s, höhere Viskosität, aufweist als das Quarzglas des zusätzlich aufgetragenen Mantelmaterials (bei Angabe der Viskosität als logarithmischer Wert in dPa.s).
13. Verfahren zur Herstellung einer Vorform für eine Antiresonante Hohlkernfaser, die einen sich entlang einer Faser-Längsachse erstreckenden Hohlkern und einen den Hohlkern umgebenden Mantelbereich aufweist, der mehrere Antiresonanzelemente umfasst, mit den Verfahrensschritten:
 - (a) Bereitstellen einer primären Vorform für die Hohlkernfaser, die einen hohlen Kernbereich und einen Mantelbereich aufweist, der

mindestens ein Hüllrohr (1) umfasst, das eine Hüllrohr-Innenbohrung und eine Hüllrohr-Längsachse aufweist, entlang der sich eine von einer Innenmantelfläche und einer Außenmantelfläche begrenzte Hüllrohr-Wandung (2) erstreckt, wobei im Mantelbereich eine Anzahl von rohrförmigen und/oder hohlkanalförmigen Antiresonanzelement-Vorformlingen (4) angeordnet sind, und

- (b) Weiterverarbeitung der primären Vorform zu einer sekundären Vorform, die eine einmalige oder wiederholte Durchführung von einem oder mehreren der folgenden Heißformprozesse umfasst:
 - (i) Elongieren
 - (ii) Kollabieren und gleichzeitiges Elongieren,
 - (iii) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und anschließendes Elongieren,
 - (iv) Aufkollabieren von zusätzlichem Mantelmaterial und gleichzeitiges Elongieren,

dadurch gekennzeichnet, dass eine sekundäre Vorform gebildet wird, die einen Außendurchmesser im Bereich von 30 bis 90 mm aufweist, und mindestens eines der stirnseitigen Enden der Antiresonanzelement-Vorformlinge (4) verschlossen ist.

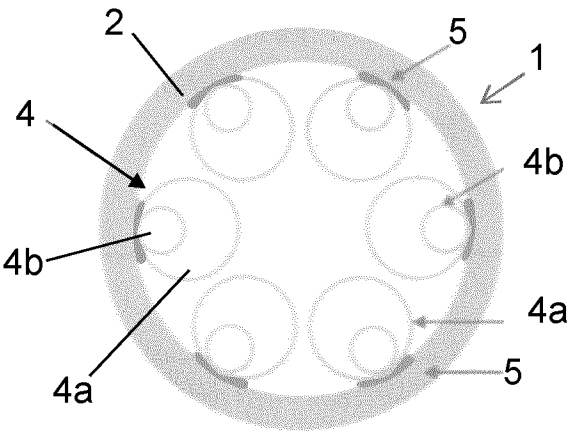


Fig. 1

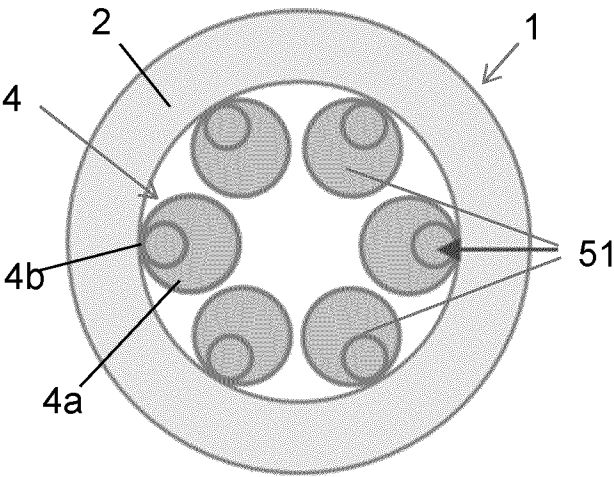


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/069990

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER C03B 37/012 (2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C03B Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	Fei Yu. "Hollow core negative curvature fibres" In: University of Bath PhD., pages 59-74, 31 December 2013 (2013-12-31), XP055656461 page 61 - page 62; figures 4.1,7	1,4,5,9,13 6-8,10-12 2,3
A	US 2008310806 A1 (MUKASA KAZUNORI [JP]) 18 December 2008 (2008-12-18) paragraphs [0037], [0038]	1,13
A	US 2003172682 A1 (SATO FUMIO [JP] ET AL) 18 September 2003 (2003-09-18) paragraph [0027]	1,13
Y	US 2005226578 A1 (MANGAN BRIAN J [GB] ET AL) 13 October 2005 (2005-10-13) paragraphs [0018], [0026], [0027]	6
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex. * Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 04 September 2020		Date of mailing of the international search report 14 September 2020
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Creux, Sophie Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/069990

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	A F KOSOLAPOV ET AL. "Hollow-core revolver fibre with a double-capillary reflective cladding" <i>QUANTUM ELECTRONICS</i> , GB, Vol. 46, No. 3, 29 March 2016 (2016-03-29), pages 267-270 DOI: 10.1070/QEL15972 ISSN: 1063-7818, XP055502520 page 268; figure 2	7,8
Y	EP 3136143 A1 (MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISS E V [DE]) 01 March 2017 (2017-03-01) cited in the application paragraphs [0064] - [0066]; figure 6	10
Y	BEN SHERLOCK ET AL. "Tunable fibre-coupled multiphoton microscopy with a negative curvature fibre" <i>JOURNAL OF BIOPHOTONICS</i> , DE, Vol. 9, No. 7, 15 March 2016 (2016-03-15), pages 715-720 DOI: 10.1002/jbio.201500290 ISSN: 1864-063X, XP055299632 page 716, right column; figure 1	11,12
A	GREGORY T. JASION ET AL. "Fabrication of tubular anti-resonant hollow core fibers: modelling, draw dynamics and process optimization" <i>OPTICS EXPRESS</i> , Vol. 27, No. 15, 10 July 2019 (2019-07-10), page 20567 DOI: 10.1364/OE.27.020567 XP055655469 page 20570; figure 2	2,3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/069990

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2008310806	A1	18 December 2008	JP	5170863	B2	27 March 2013
				JP	2008310034	A	25 December 2008
				US	2008310806	A1	18 December 2008
US	2003172682	A1	18 September 2003	CN	1446767	A	08 October 2003
				JP	4466813	B2	26 May 2010
				JP	2004043286	A	12 February 2004
				US	2003172682	A1	18 September 2003
				US	2006123851	A1	15 June 2006
US	2005226578	A1	13 October 2005	NONE			
EP	3136143	A1	01 March 2017	CA	2995736	A1	02 March 2017
				CN	108351465	A	31 July 2018
				DK	3136143	T3	18 May 2020
				EP	3136143	A1	01 March 2017
				EP	3341771	A1	04 July 2018
				JP	2018533042	A	08 November 2018
				TW	201712381	A	01 April 2017
				US	2018267235	A1	20 September 2018
				US	2019377131	A1	12 December 2019
				WO	2017032454	A1	02 March 2017

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. C03B37/012
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
C03B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	Fei Yu: "Hollow core negative curvature fibres" In: "University of Bath PhD.", 31. Dezember 2013 (2013-12-31), XP055656461, Seiten 59-74,	1,4,5,9, 13
Y	Seite 61 - Seite 62; Abbildungen 4.1,7	6-8, 10-12
A		2,3
A	----- US 2008/310806 A1 (MUKASA KAZUNORI [JP]) 18. Dezember 2008 (2008-12-18) Absätze [0037], [0038]	1,13
A	----- US 2003/172682 A1 (SATO FUMIO [JP] ET AL) 18. September 2003 (2003-09-18) Absatz [0027] ----- -/-	1,13

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

4. September 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/09/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Creux, Sophie

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2005/226578 A1 (MANGAN BRIAN J [GB] ET AL) 13. Oktober 2005 (2005-10-13) Absätze [0018], [0026], [0027] -----	6
Y	A F KOSOLAPOV ET AL: "Hollow-core revolver fibre with a double-capillary reflective cladding", QUANTUM ELECTRONICS., Bd. 46, Nr. 3, 29. März 2016 (2016-03-29), Seiten 267-270, XP055502520, GB ISSN: 1063-7818, DOI: 10.1070/QEL15972 Seite 268; Abbildung 2 -----	7,8
Y	EP 3 136 143 A1 (MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WSS E V [DE]) 1. März 2017 (2017-03-01) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0064] - [0066]; Abbildung 6 -----	10
Y	BEN SHERLOCK ET AL: "Tunable fibre-coupled multiphoton microscopy with a negative curvature fibre", JOURNAL OF BIOPHOTONICS, Bd. 9, Nr. 7, 15. März 2016 (2016-03-15), Seiten 715-720, XP055299632, DE ISSN: 1864-063X, DOI: 10.1002/jbio.201500290 Seite 716, rechte Spalte; Abbildung 1 -----	11,12
A	GREGORY T. JASION ET AL: "Fabrication of tubular anti-resonant hollow core fibers: modelling, draw dynamics and process optimization", OPTICS EXPRESS, Bd. 27, Nr. 15, 10. Juli 2019 (2019-07-10), Seite 20567, XP055655469, DOI: 10.1364/OE.27.020567 Seite 20570; Abbildung 2 -----	2,3

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/069990

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2008310806	A1	18-12-2008	JP	5170863 B2		27-03-2013
			JP	2008310034 A		25-12-2008
			US	2008310806 A1		18-12-2008

US 2003172682	A1	18-09-2003	CN	1446767 A		08-10-2003
			JP	4466813 B2		26-05-2010
			JP	2004043286 A		12-02-2004
			US	2003172682 A1		18-09-2003
			US	2006123851 A1		15-06-2006

US 2005226578	A1	13-10-2005	KEINE			

EP 3136143	A1	01-03-2017	CA	2995736 A1		02-03-2017
			CN	108351465 A		31-07-2018
			DK	3136143 T3		18-05-2020
			EP	3136143 A1		01-03-2017
			EP	3341771 A1		04-07-2018
			JP	2018533042 A		08-11-2018
			TW	201712381 A		01-04-2017
			US	2018267235 A1		20-09-2018
			US	2019377131 A1		12-12-2019
WO	2017032454 A1		02-03-2017			
